

**MINISTERIE VAN LANDBOUW**

---

**Bestuur voor Landbouwkundig Onderzoek**

**Kommissie voor Toegepast Wetenschappelijk Onderzoek in de Zeevisserij**

**Voorzitter : F. Lievens, Directeur - Generaal**

---

**Nr. 17**

***Wisselstroom***  
***aan boord van Vissersvaartuigen***

**door**

**A. VAN MIDDELEM**

**Werkgroep «Techniek in de Zeevisserij»**

**Voorzitter : P.Hovart**

**MINISTERIE VAN LANDBOUW**

---

**Bestuur voor Landbouwkundig Onderzoek**

**Kommisie voor Toegepast Wetenschappelijk Onderzoek in de Zeevisserij**

**Voorzitter : F. Lievens, Directeur - Generaal**

---

**Nr. 17**

***Wisselstroom***  
***aan boord van Vissersvaartuigen***

**door**

**A. VAN MIDDELEM**

**Werkgroep «Techniek in de Zeevisserij»**

**Voorzitter : P.Hovart**

## INHOUDSOPGAVE.

=====

### INLEIDING.

#### § 1 HET GEBRUIK VAN GELIJKSTROOM.

- A. Algemeenheden.
- B. Beschrijving van een gelijkstrooinstallatie.

#### § 2 HET GEBRUIK VAN WISSELSTROOM.

- A. Algemeenheden.
- B. Mogelijkheden voor wisselstrooinstallaties.

- 1) Eerste mogelijkheid.
- 2) Tweede mogelijkheid.
- 3) Derde mogelijkheid.
- 4) Vierde mogelijkheid.
- 5) Vijfde mogelijkheid.
- 6) Zesde mogelijkheid.

#### C. Detailstudie van de zesde mogelijkheid.

- 1) Principes.
- 2) Apparatuur.
  - a) De alternator met bekrachtigingssysteem.
    - (i) Compoundschakeling op chassis.
    - (ii) Ingebouwde compoundschakeling.
    - (iii) Losse compoundschakeling.
  - b) Asynchrone motoren.
  - c) Gelijkrichtersysteem.
  - d) Hulpmotor.

#### § 3 ECONOMISCHE ASPEKTEN.

- A. Aankoopprijs en installatiekosten.
- B. Exploitatiekosten.

#### § 4 BESLUITEN.

## I N L E I D I N G.

=====

Op enkele uitzonderingen na, wordt aan boord van de Belgische vissersvaartuigen momenteel nog steeds gelijkstroom gebruikt. Deze aanwending biedt bepaalde voordelen, maar heeft ook een aantal nadelen. Op grond van deze vaststelling kan de vraag gesteld worden welke deze voor- en nadelen konkreet zijn, met de gedachte of het gebruik van wisselstroom de nadelen niet kan ondervangen en of hierbij dan geen bepaalde problemen oprijzen. Deze overwegingen vormen de doelstelling van onderhavige studie.

Vooreerst wordt het gebruik van gelijkstroom besproken, met name de voor- en nadelen en het werkingsprincipe. Verder worden de voor- en nadelen van de wisselstroom bestudeerd en worden de diverse aanwendingsmogelijkheden onderzocht. In een detailstudie wordt dan één van de mogelijkheden nader ontleed. Tenslotte worden enkele economische aspecten en besluiten naar voren gebracht.

## § 1. - HET GEBRUIK VAN GELIJKSTROOM. =====

### A. Algemeenheden.

Aan boord van vissersvaartuigen wordt momenteel praktisch uitsluitend gelijkstroom aangewend. Deze aanwending biedt zowel voor- als nadelen.

De aanwending van gelijkstroom heeft als voordelen :

1. De dynamo kan rechtstreeks worden aangedreven door de hoofdmotor, die als hoofdfunctie heeft de voortstuwing van het vaartuig.

2. Er moet geen rekening worden gehouden met faseverschuivingen ( $\cos \varphi$ ).

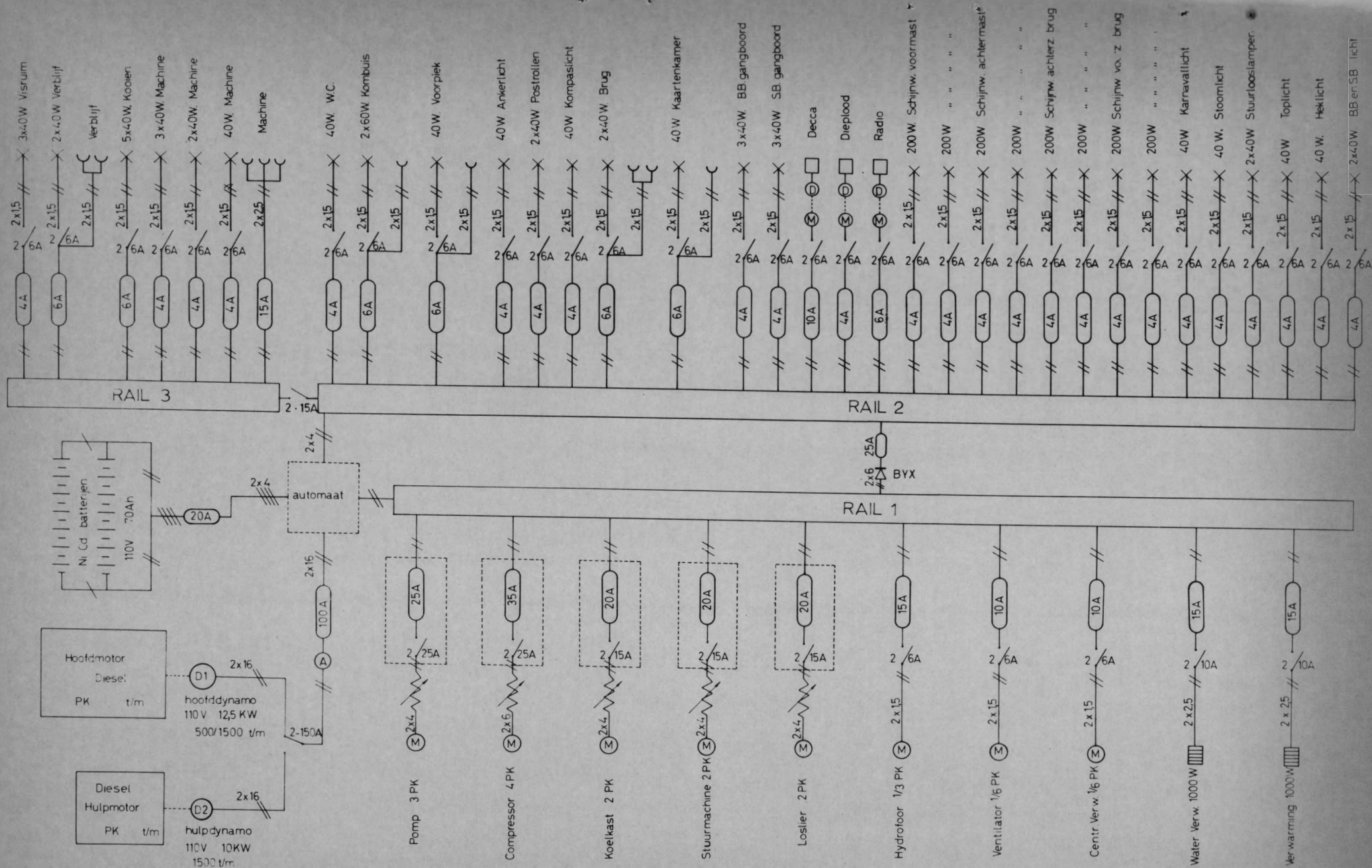
3. De gelijkstroom wordt niet gekenmerkt door perioden, zodat alleen spanning en stroomsterkte een rol spelen.

4. De gelijkstroom laat zeer nauwkeurige snelheidsregelingen toe, zoals o.m. bij shuntmotoren, Ward-Leonard schakelingen, servomechanismen enz.

Tegenover deze voordelen staan echter ook een aantal nadelen :

1. De gelijkspanning kan minder gemakkelijk tot een hogere of lagere spanning omgezet worden.

2. De gelijkspanning kan, als dusdanig, niet aangewend worden voor het voeden van transformatoren, die o.a. bestemd zijn voor de electronische apparaten (decca, radar, netsonde enz.).



Figuur 1

3. Gelijkstroommotoren zijn minder commercieel dan wisselstroommotoren.

4. De collector vormt bij gelijkstroombuachines een zwak onderdeel.

#### B. Beschrijving van een gelijkstroombuinstallatie.

Figuur 1 geeft een algemeen schema van één van de diverse aanwendingsmogelijkheden van een gelijkstroombuinstallatie aan boord van vissersvaartuigen, waarbij uitgegaan wordt van een integrale 110 Volt installatie.

De hoofddynamo D1 wordt aangedreven door de hoofdmotor van het schip, terwijl de dynamo D2 aan de hulpmotor gekoppeld is. De hoofdschakelaar 2 - 150 A kan ofwel met de hoofddynamo, ofwel met de hulpdynamo verbonden worden.

De stroom wordt via de ampèremeter A, de zekering 100 A en de automaat toegevoerd aan rail 1 ; op deze rail zijn de motoren en verwarmingsselementen aangeschakeld. De verlichting is op rail 2 en 3 gekoppeld. De verbinding tussen rail 1 en 2 komt tot stand door middel van een diode van het type BYX. Deze diode heeft tot doel te beletten dat er energie overgebracht wordt van rail 2 naar rail 1. Rail 3 is met rail 2 verbonden door de schakelaar 2 - 15 A. Alle lichtpunten en stopkontakten die op rail 3 aangesloten zijn, bevinden zich onder dek en kunnen in geval van nood (b.v. water in het schip) afzonderlijk afgeschakeld worden zonder evenwel de bovendeckverlichting uit te schakelen.

De automaat wordt bekrachtigd door de hoofddynamo waardoor de stroom rechtstreeks aan rail 1 toegevoerd wordt. Van zodra de spanning weg valt of beneden een bepaald minimum



daalt, schakelt de automaat de Ni-Cd batterijen in. De stroomtoevoer geschiedt nu langs rail 2 die, via de schakelaar 2 - 15 A, rail 3 voedt. De motoren kunnen aldus geen energie putten uit de batterijen, daar de diode BYX elke energie overdracht van rail 2 naar rail 1 verhindert. De automaat is tevens voorzien van een bediening die toelaat de batterijen te laden door dynamo D1 of D2.

Deze 110 V installatie dient als uitgangspunt en basis voor de wisselstroomstudie. Dergelijke installatie komt op meerdere schepen voor en biedt reeds tal van voordelen ten opzichte van een integrale 24 V of een gemengde 24 V - 110 V installatie.

## § 2. - HET GEBRUIK VAN WISSELSTROOM. =====

### A. Algemeenheden.

Wanneer aan boord van vissersvaartuigen wisselstroom kan worden gebruikt, worden nadelen die aan gelijkstroom verbonden zijn ondervangen. Deze vormen dan ook de voordelen van de wisselstroom, met name :

1. Uiterst gemakkelijke transformatie tot hogere of lagere spanning.
2. Rechtstreeks geschikt voor voeden van transformatoren.
3. Wisselstroommotoren zijn courant in de handel verkrijgbaar.



4. Sommige wisselstroommachines hebben noch collector, noch sleepringen waaruit voortvloeit dat geen delicate borstelsystemen voorhanden zijn.

5. Tenslotte mag nog worden onderlijnd dat bij wisselstroom de galvanische corrosie niet wordt in de hand gewerkt.

Het gebruik van wisselstroom biedt echter ook een aantal nadelen :

1. Daar wisselstroom gekenmerkt wordt door een frequentieverloop dient het toerental van de aandrijfmotor konstant gehouden te worden. Nu ligt het zo dat het toerental van de motor van een vissersvaartuig bijzonder sterk varieert ; het aantal toeren tijdens de heen- of terugreis is groter (30 à 40 %) dan tijdens het vissen.

De frequentie van de wisselstroom wordt gegeven door de betrekking 
$$f = \frac{p \cdot N}{60}$$

hierbij is  $f$  = frequentie in perioden per seconde,

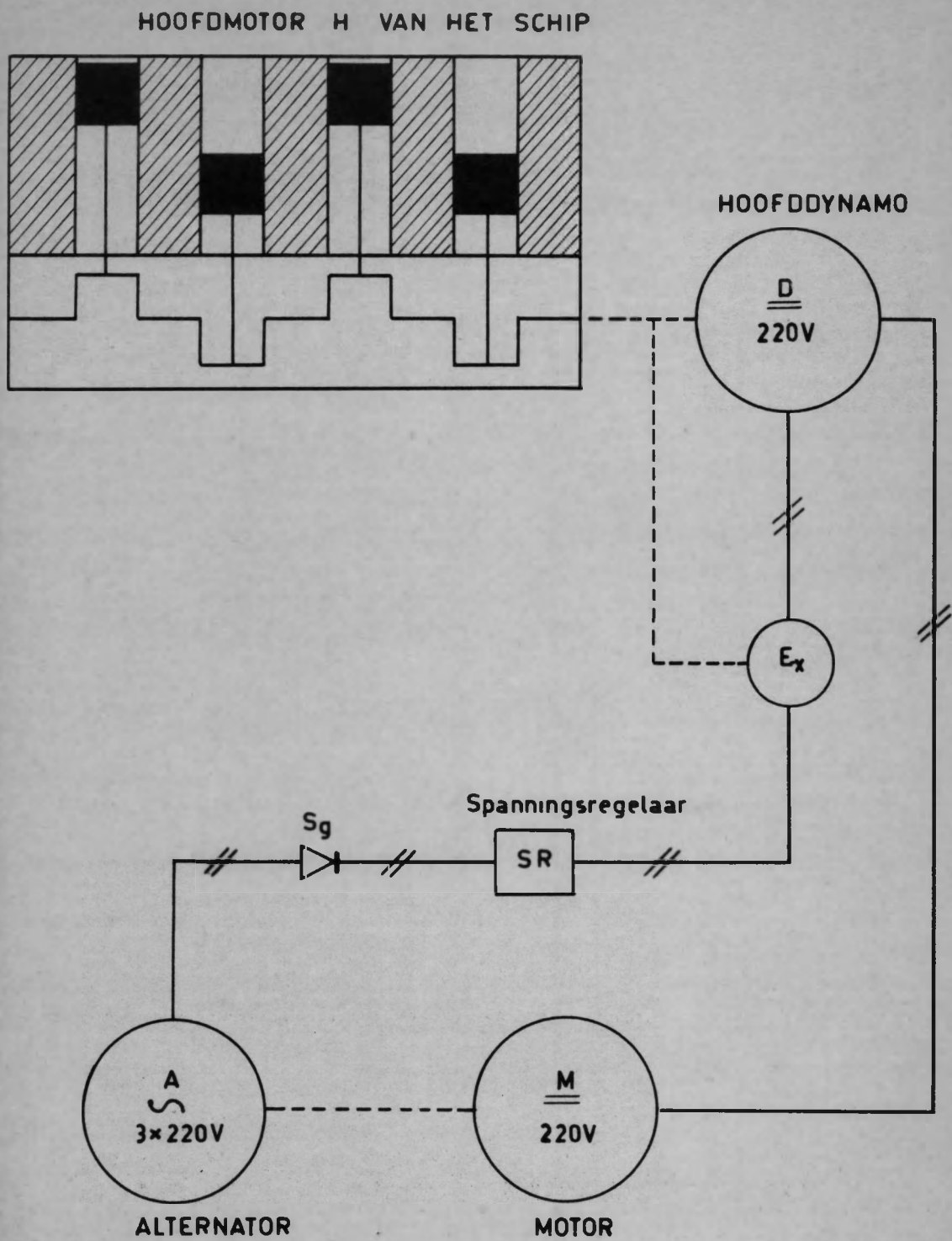
$p$  = aantal poolparen (onbenoemd),

$N$  = toerental per minuut

Voor een bepaalde alternator heeft  $p$  een constante waarde, zodat  $f = k \cdot N$ , met  $k = \frac{p}{60} = \text{constante}$ .

De frequentie is aldus rechtstreeks evenredig met het toerental, zodat deze laatste dient constant gehouden te worden teneinde de frequentie niet te wijzigen. Om dit toerental constant te krijgen moet dan ook een hulpmotor ingeschakeld worden.

2. Bij wisselstroom moet rekening gehouden worden met de  $\cos \varphi$ , waardoor de alternator groter moet gedimensioneerd worden.



Figuur 2

3. De wisselstroom kan niet rechtstreeks aangewend worden voor het voeden van de batterijen van de noodverlichting.

#### B. Mogelijkheden voor wisselstroominstallaties.

Voor het aanwenden van wisselstroom aan boord van vissersvaartuigen bestaan diverse mogelijkheden, doch het komt erop aan bij een omschakeling van gelijkstroom naar wisselstroom de meest rationele oplossing te vinden.

##### 1. Eerste mogelijkheid (figuur 2).

Een eerste mogelijkheid ligt in het inschakelen van :

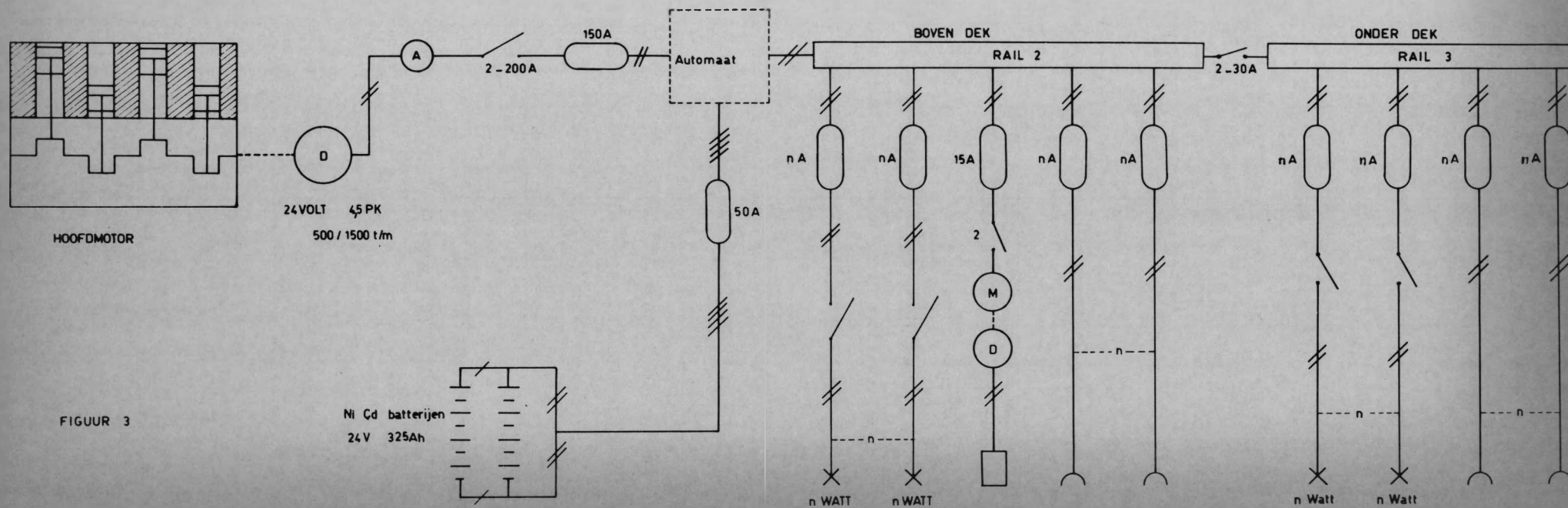
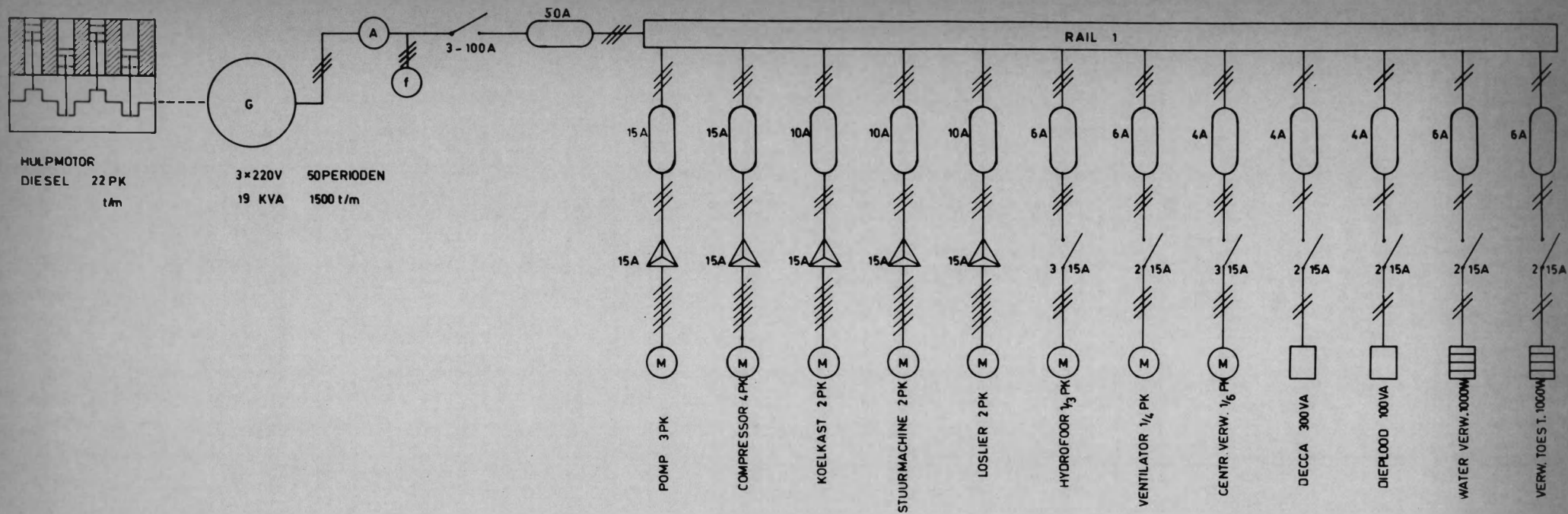
a) Een hoofddynamo D die aangedreven wordt door de hoofdmotor H van het schip.

b) Een gelijkstroommotor M die gevoed wordt door de hoofddynamo D.

c) Een driefasige alternator A die mechanisch gekoppeld is aan de gelijkstroommotor M.

d) Een excitatrice  $E_x$ . (kleine dynamo) die de bekrachtiging levert voor de hoofddynamo D.

Tussen de alternator A en de excitatrice is een automatische spanningsregelaar SR geschakeld (snelregelaar). Deze regelaar ontvangt een referentiespanning van de alternator via een gelijkrichtersysteem. De spanningsregelaar SR regelt de bekrachtigingsstroom van de excitatrice die op haar beurt de spanning beïnvloedt van de hoofddynamo D.



FIGUUR 3

Wanneer bij belasting de alternator A en dus ook de motor M, neiging vertonen om te verminderen in toerental, zal een spanningsdaling ontstaan die onmiddellijk de spanningsregelaar SR doet reageren. Hierdoor wordt de bekrachtigingsstroom gewijzigd (door weerstandverandering) van de excitatrice. Door dit regelprocédé verandert de dynamospanning waardoor het toerental én van de motor én van de alternator gecompenseerd wordt. Het toerental van de alternator dient immers constant gehouden te worden met het oog op de frequentie (50 Hz).

Een dergelijke schakeling werd vroeger reeds geïnstalleerd in de visserij doch gaf geen voldoening. De reden lag vooral bij de regelapparatuur die onderhevig was aan traagheidskrachten. Momenteel is dit echter uitgesloten enerzijds door de technische vooruitgang en anderzijds door de opgedane ervaring.

Verder ligt het vermogen van de hoofddynamo D circa 25 % hoger dan dit van de alternator A. Dit betekent dat men moet beschikken over drie machines van groot vermogen, zodat de kostprijs relatief hoog ligt, te meer daar men eveneens nog dient rekening te houden met de prijs van een excitatrice en de nodige regelapparatuur.

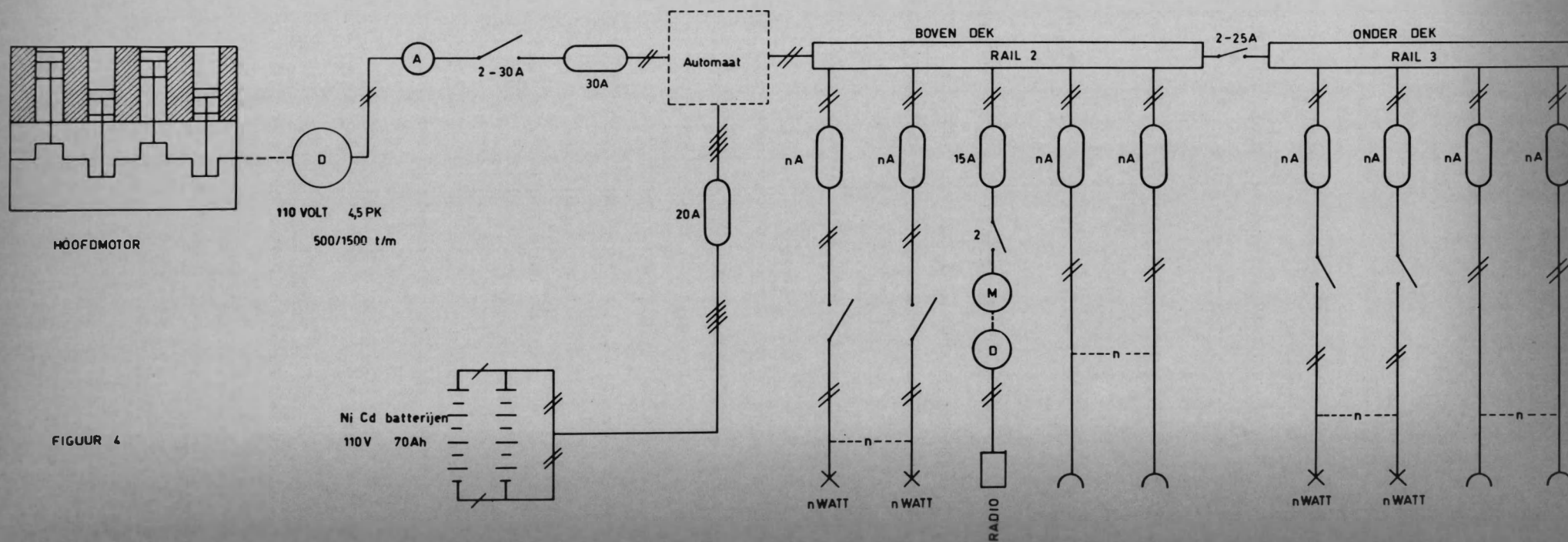
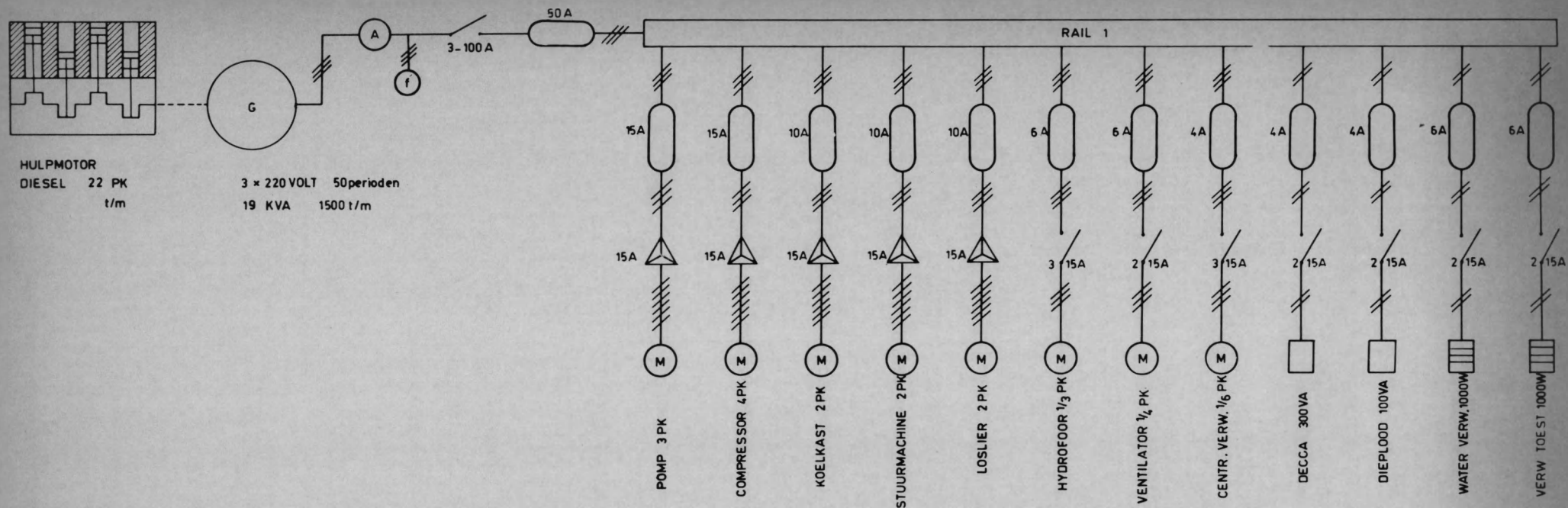
## 2. Tweede mogelijkheid (figuur 3).

Een tweede mogelijkheid bestaat in het voorzien van :

a) Een dynamo van 24 Volt ( $\pm 4,5$  pk) gekoppeld op de hoofdmotor, waarop volgende aansluitingen verricht worden :

- de verlichting,
- de zender en ontvanger,
- een stel Ni-Cd batterijen van 24 volt - 325 Ah.





FIGUUR 4

b) Een afzonderlijke dieselmotor, die een drie-fasige alternator aandrijft (3 x 220 Volt  $\pm$  19 KVA).

c) Een alternator waarop volgende toestellen aangesloten worden :

- een dieptemeter (220 V),
- een decca (220 V),
- een verwarmingstoestel (1.000 Watt, 220 V),
- een waterverwarmer (1.000 Watt, 220 V),
- asynchrone motoren van :
  - 4 pk, 3 x 220 Volt voor een compressor,
  - 3 pk, 3 x 220 Volt voor een pomp,
  - 2 pk, 3 x 220 Volt voor een koelinstallatie,
  - 2 pk, 3 x 220 Volt voor een loslier,
  - 2 pk, 3 x 220 Volt voor een stuurmachine,
  - 1/3 pk, 3 x 220 Volt voor een hydrofoor,
  - 1/6 pk, 3 x 220 Volt voor een centrale verwarming,
  - 1/4 pk, 3 x 220 Volt voor een ventilator.

Deze tweede mogelijkheid veronderstelt een afzonderlijke dieselmotor en dynamo en voor bepaalde toestellen, zwaardere leidingen tengevolge van de spanning van 24 Volt.

### 3. Derde mogelijkheid (figuur 4).

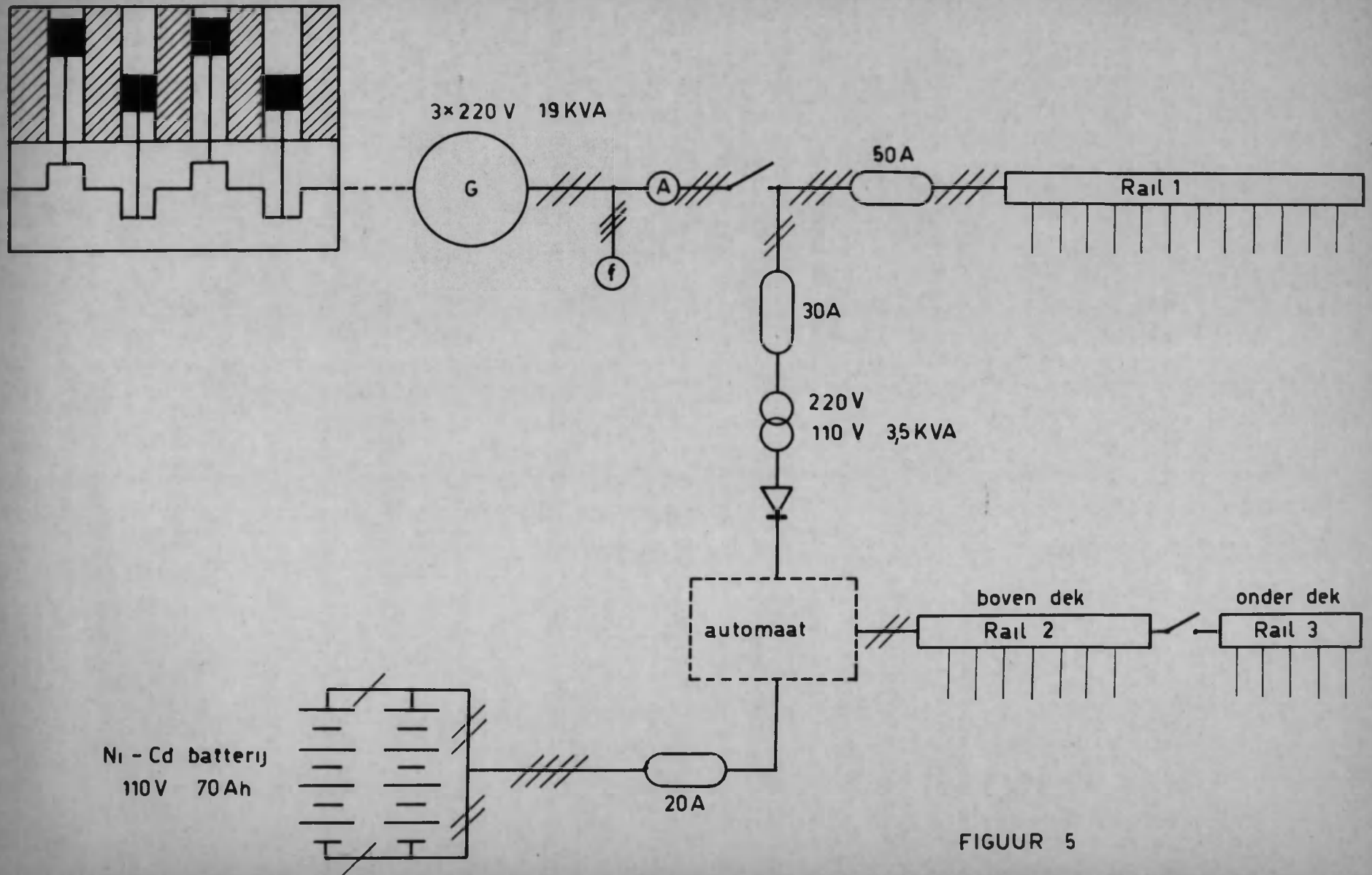
De derde mogelijkheid vereist :

a) Een afzonderlijke dieselmotor, die een drie-fasige alternator aandrijft (3 x 220 Volt,  $\pm$  19 KVA) en waarop de toestellen vermeld bij de tweede mogelijkheid p. c aangesloten worden.

b) Een dynamo van 110 Volt ( $\pm$  4,5 pk) gekoppeld op de hoofdmotor ; deze dynamo voedt :

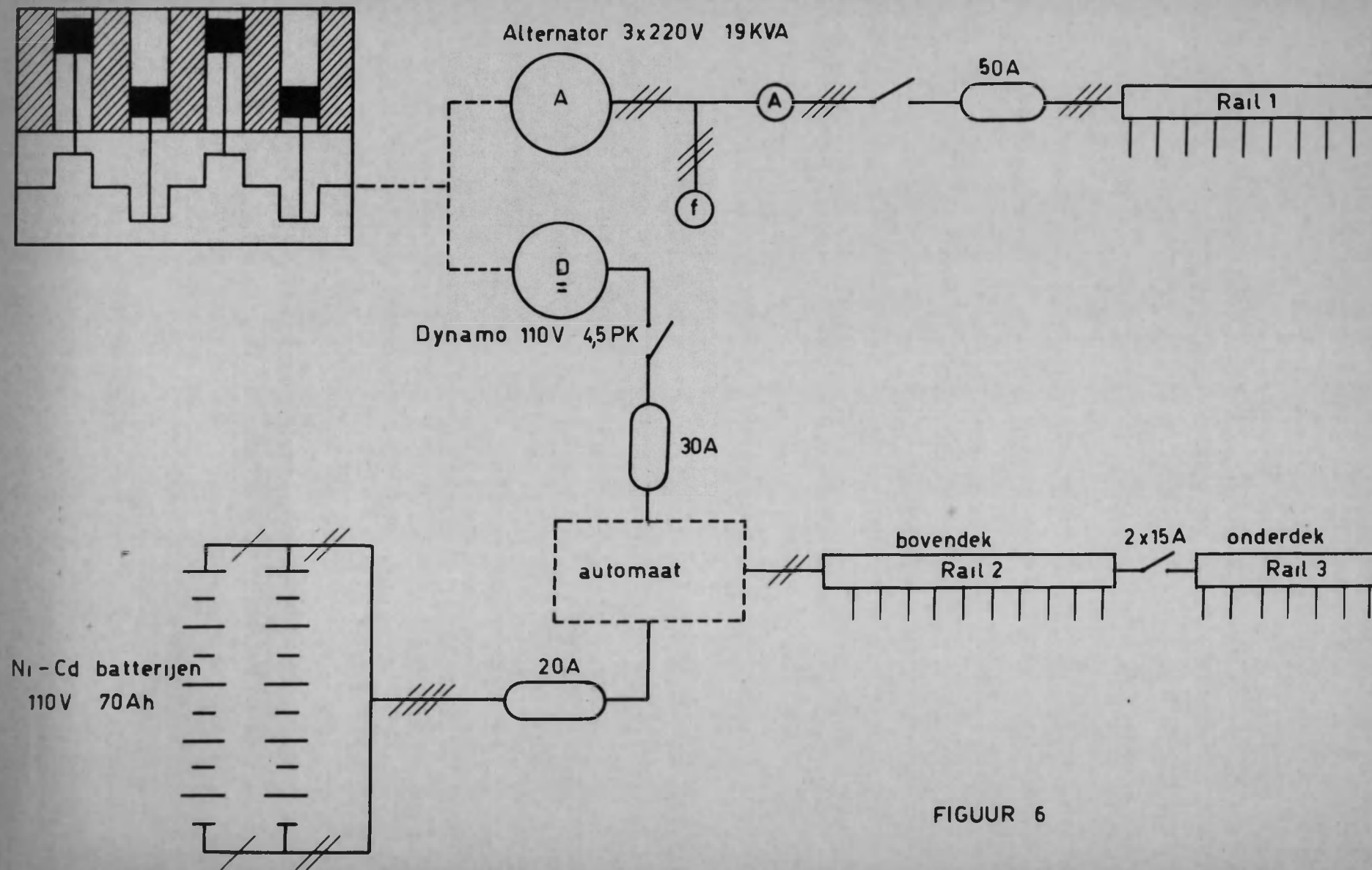


# AFZONDERLIJKE DIESELMOTOR



FIGUUR 5

# AFZONDERLIJKE DIESELMOTOR



FIGUUR 6

- de verlichting,
- de radio,
- de batterijinstallatie (Ni-Cd batterijen van 110 V, 70 Ah).

Wegens de hogere spanning van deze dynamo zijn geen zwaardere leidingen te voorzien, doch er is opnieuw een afzonderlijke dieselmotor en dynamo noodzakelijk.

#### 4. Vierde mogelijkheid (figuur 5).

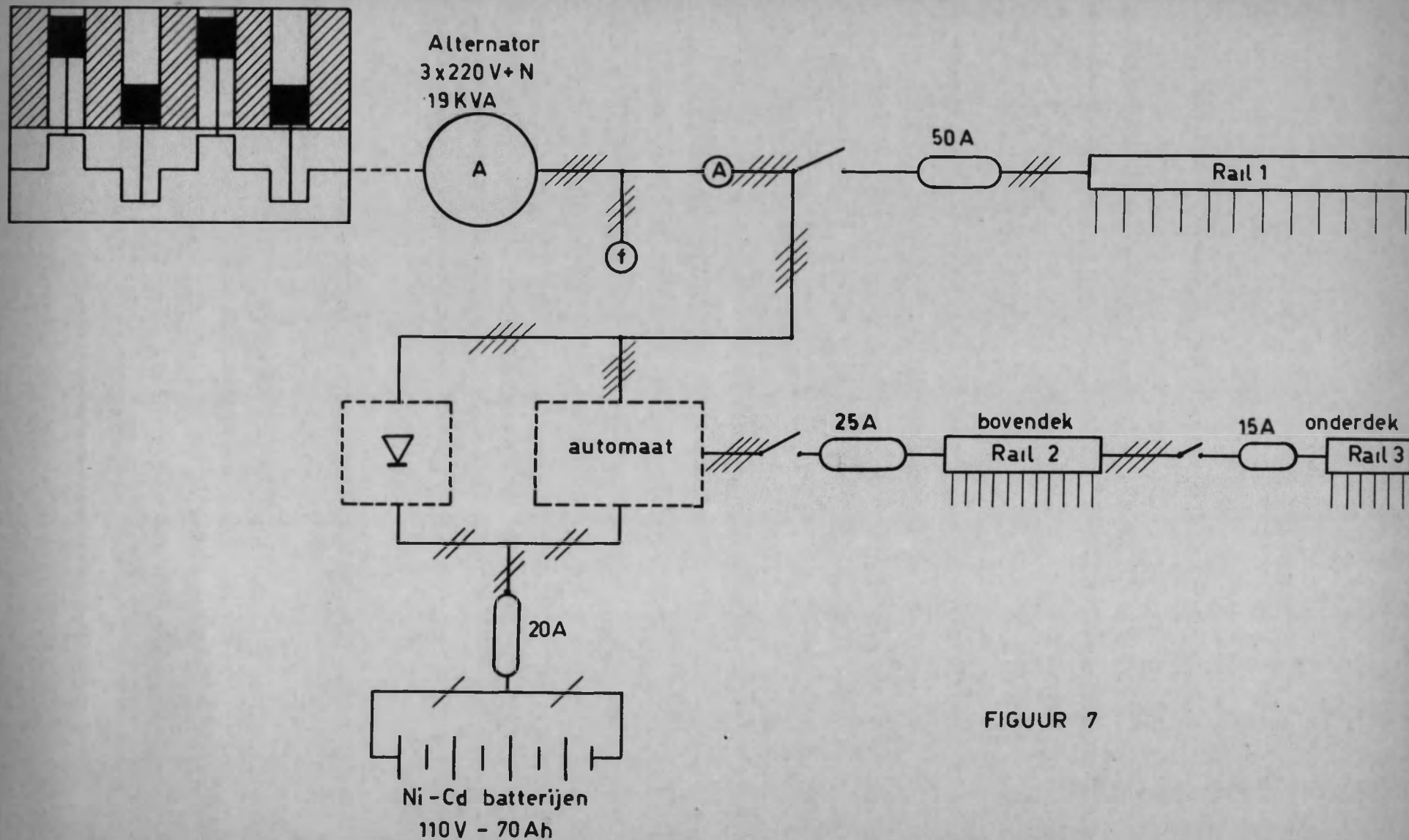
Als vierde mogelijkheid kan worden voorgesteld :

- a) Een afzonderlijke dieselmotor, die een drie-fasige alternator van 3 x 220 Volt,  $\pm$  19 KVA aandrijft,
- b) Een alternator waarop de toestellen aangesloten worden, vermeld in de tweede mogelijkheid punt c,
- c) Een transformator 220/110 V  $\pm$  3,5 KVA waarop een gelijkrichtersysteem geschakeld wordt, die op zijn beurt de batterij installatie (110 V, 70 Ah), de radio en de verlichting voedt.

Deze opstelling vergt eveneens een afzonderlijke dieselmotor, alsook een transformator met gelijkrichter-systeem.

Deze mogelijkheid biedt evenwel als voordeel dat geen afzonderlijke dynamo nodig is en gezien de statische opstelling (gelijkrichters) wordt het onderhoud tot een minimum herleid.

# AFZONDERLIJKE DIESELMOTOR



FIGUUR 7

### 5. Vijfde mogelijkheid (figuur 6).

De vijfde mogelijkheid omvat een afzonderlijke dieselmotor, die zorgt voor de aandrijving van een driefasige alternator  $3 \times 220 \text{ V}$ ,  $\pm 19 \text{ KVA}$  en een dynamo van  $110 \text{ Volt}$ . De alternator staat in voor de voeding van de toestellen verbonden aan rail 1 (zie figuur 3), terwijl de dynamo rail 2 en rail 3 voedt.

Opnieuw is een afzonderlijke dieselmotor en dynamo noodzakelijk, doch men beschikt, zonder automatische spanningsregelaar, over een constante gelijkspanning.

### 6. Zesde mogelijkheid (figuur 7).

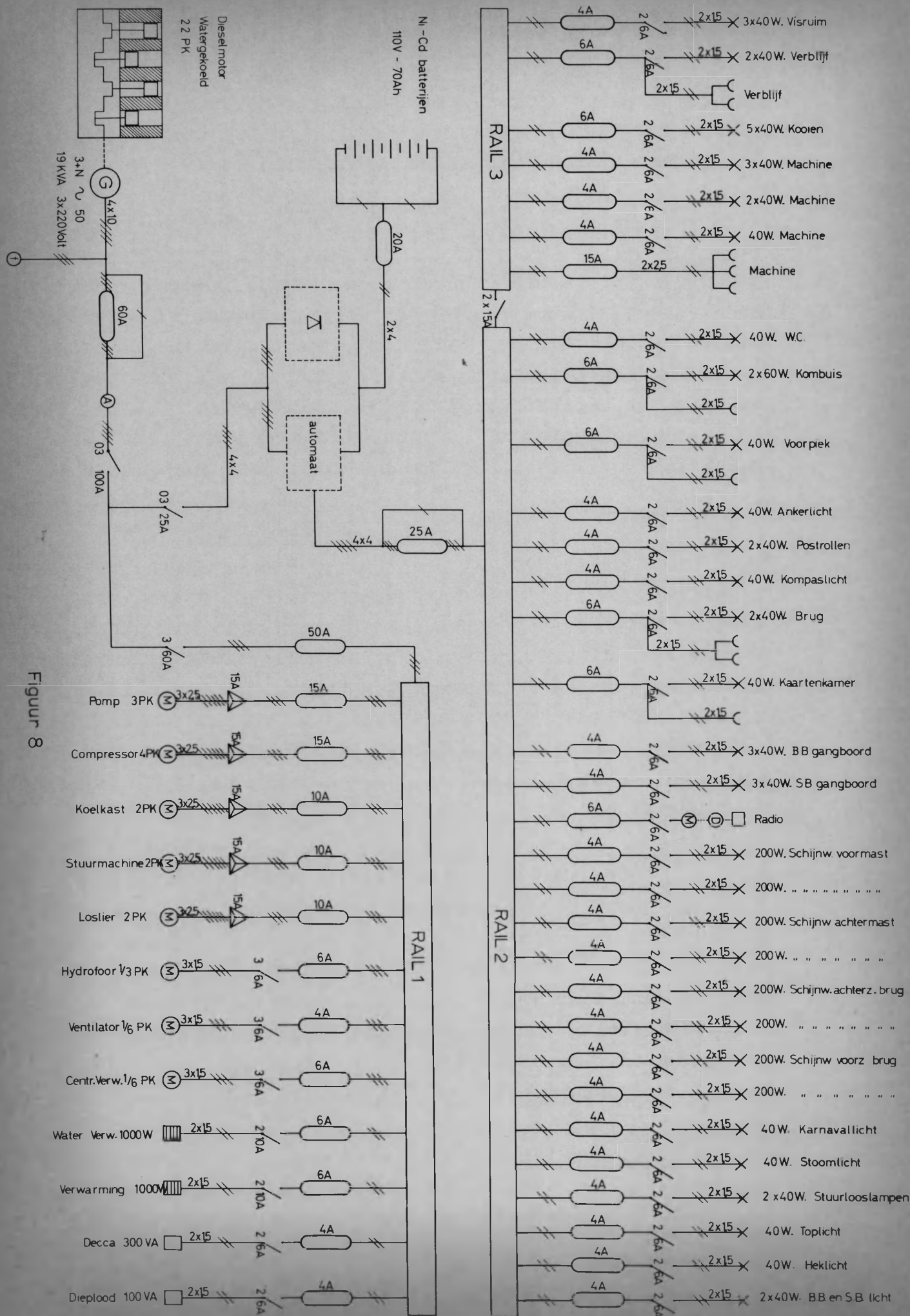
De zesde mogelijkheid behelst :

a) Een afzonderlijke dieselmotor die een driefasige alternator aandrijft ( $3 \times 220 \text{ V}$ ,  $\pm 19 \text{ KVA}$ ) en waarop, indien het sterpunt bereikbaar is, de verlichting op  $130 \text{ V}$ , wisselspanning aangesloten kan worden.

b) Een gelijkrichterinstallatie voor het voeden van de batterijen.

c) Alle overige toestellen die in punt c van mogelijkheid twee vermeld zijn en die door de alternator gevoed worden.

Bij deze mogelijkheid is tevens een afzonderlijke dieselmotor nodig. De ingeschakelde gelijkrichterinstallatie valt echter goedkoper uit daar zij alleen moet instaan voor de voeding van de batterijen.





### C. Detailstudie van de zesde mogelijkheid.

#### 1. Principes.

Het schema van de zesde mogelijkheid wordt weer-gegeven door figuur 8. De met water gekoelde dieselmotor drijft een driefasige, zelf geregelde alternator aan, die in ster geschakeld is en een lijnspanning van 220 Volt voort-brengt. De energie wordt, via de ampèremeter A en de hoofd-schakelaar 03 - 100 A, toegevoerd aan 03 - 25 A en 3 - 60 A. Schakelaar 03 - 25 A bedient de automaat en het gelijkrichtings-systeem.

Zoals men uit de figuur 8 kan afleiden, wordt de verlichtingsinstallatie gevoed met vier geleiders (drie fasen + nulleider). De energie wordt toegevoerd aan rail 2 waarop de radio, alsmede alle verlichtingstoestellen aange-sloten worden die zich boven dek bevinden. Schakelaar 2 - 15 A verbindt rail 2 met rail 3 waarop de toestellen aan-gesloten worden die zich onder dek bevinden. Het voordeel van deze schakeling werd reeds aangehaald bij de gelijk-stroominstallatie.

Door het feit dat rail 2 en rail 3 in normale omstandigheden met wisselstroom gevoed worden, dient de radio via een omvormer aangesloten te worden. In geval de wisselspanning om een of andere reden wegvalt, wordt de magneetschakelaar van de automaat stroomloos, zodat een overschakeling tot stand komt die de drie fasen met elkaar verbinden en terzelfdertijd de batterijinstallatie inschakelt. Rail 2 en 3 worden hierdoor met gelijkstroom gevoed.

Schakelaar 3 - 60 A voedt de drijfkrachtinstal-latie (motoren), alsmede de verwarmingstoestellen, decca en dieplood. De driefasige motoren worden aangezet door middel



van ster-driehoek schakelaars, teneinde de aanloopstroom te beperken voor zover hun vermogen hoger is dan 2 pk.

De motor van de koelinstallatie wordt aangezet door middel van een automatische ster-driehoek schakelaar, gezien deze installatie op willekeurige tijdstippen in werking treedt. De verbinding van de monofasige apparaten dient zodanig te geschieden dat de belasting van de fasen zoveel mogelijk gelijkmatig is. De hulpdieselmotor en de hulpalternator zijn in de figuur niet voorgesteld.

## 2. Apparatuur.

De ingeschakelde apparatuur bij de zesde mogelijkheid omvat de alternator, de asynchrone motoren en het gelijkrichtersysteem.

### a) De alternator met bekrachtigingssysteem (1).

-----

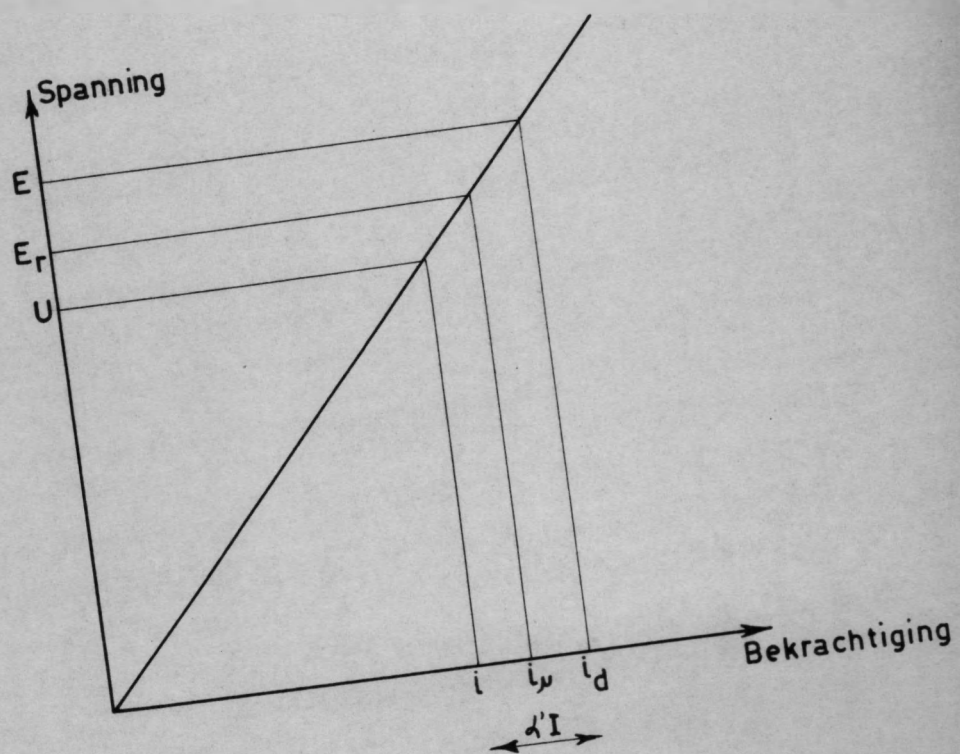
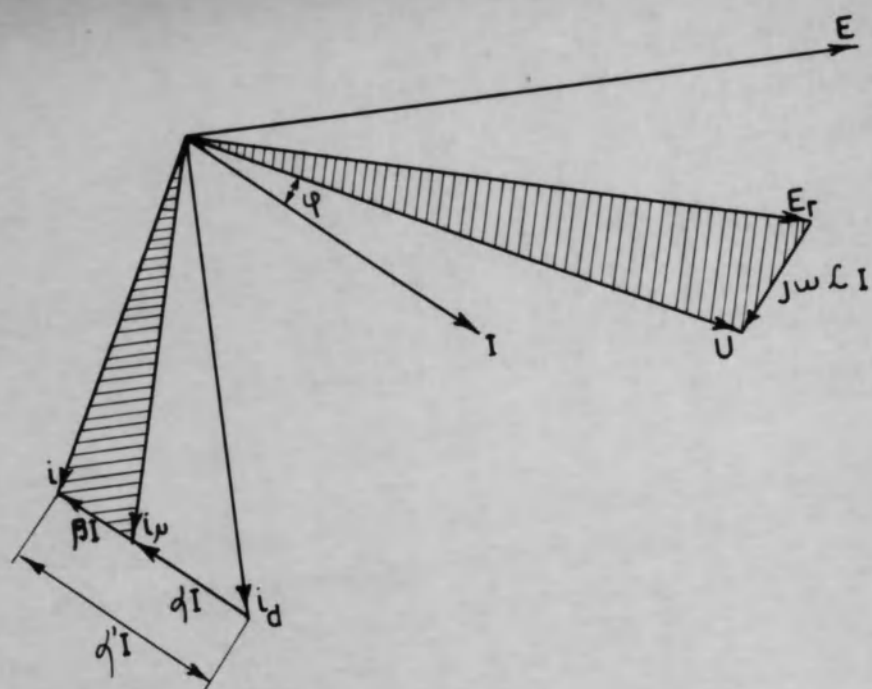
Een alternator is een machine die berust op het principe van de dynamo, doch voorzien is van sleepringen waardoor zij wisselstroom kan afgeven onder de vorm van één of meer fasen. Daar een alternator altijd een gelijkstroombron vereist voor zijn bekrachtiging, dient deze stroom op een of ander manier tot stand te komen.

De generator-bekrachtigingsgroep dient aan de volgende exploitatievereisten te voldoen : robuustheid, eenvoudige bediening, beperkt onderhoud en stabiliteit van de geleverde spanning.

Het statisch bekrachtigingssysteem van de zelf-geregelde driefasige compoundgeneratoren beantwoordt aan bovenvermelde voorwaarden door :

---

(1) A.C.E.C. - documentatie - Zelfgeregelde driefasige compoundgeneratoren.



Figuur 9

- de robuustheid, daar alleen inductiespoelen, transformatoren in lucht en droge siliciumgelijkrichters gebruikt worden,

- de eenvoudige bediening, vermits de spanningsstabilisatie geheel automatisch is en noch de spoelen, noch de transformatoren een regeling dienen te ondergaan gedurende de werking,

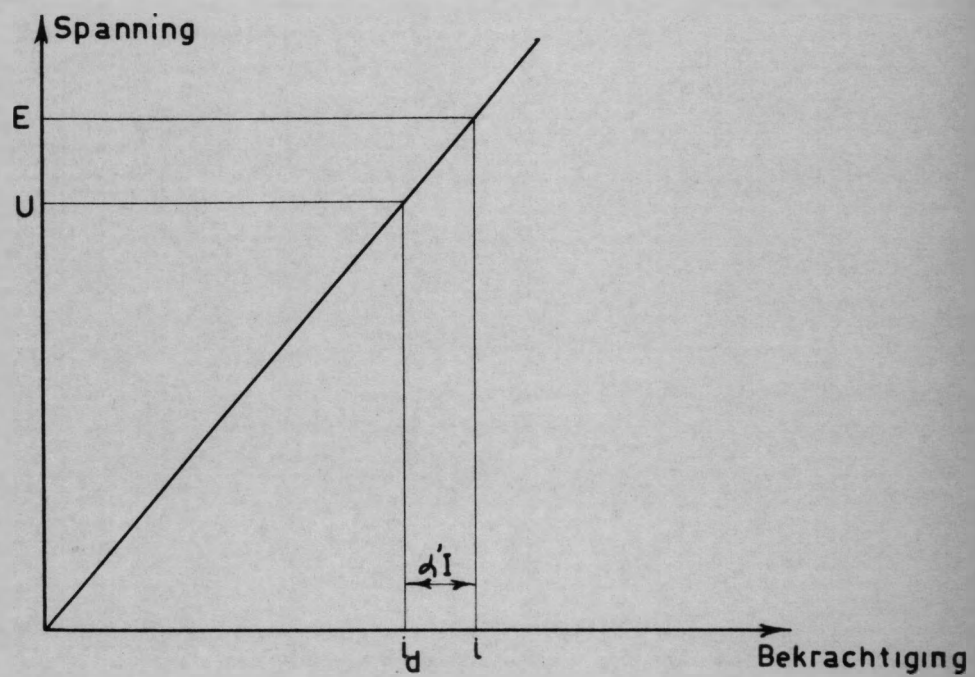
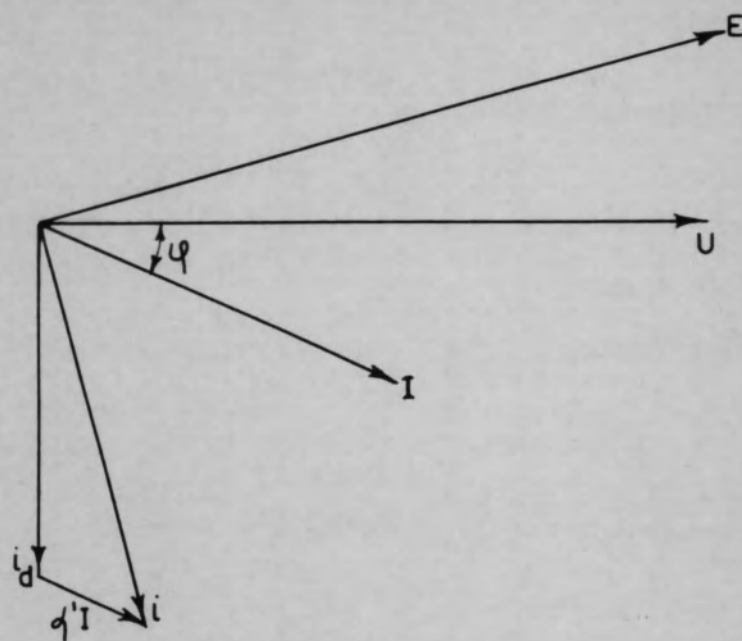
- het beperkt onderhoud, gezien het bekrachtigingssysteem dat geheel statisch is, waardoor er geen enkele smering vereist is, en er geen onderdelen moeten vervangen worden tengevolge van slijtage,

- de stabiele spanning : door de grote antwoordsnelheid op de belastingsverandering, laat de spanningsstabilisatie toe asynchrone motoren onder belaste generator-toestand te starten.

De spanning is praktisch onafhankelijk van de omgevingstemperatuur en de warmtegraad van de alternator.

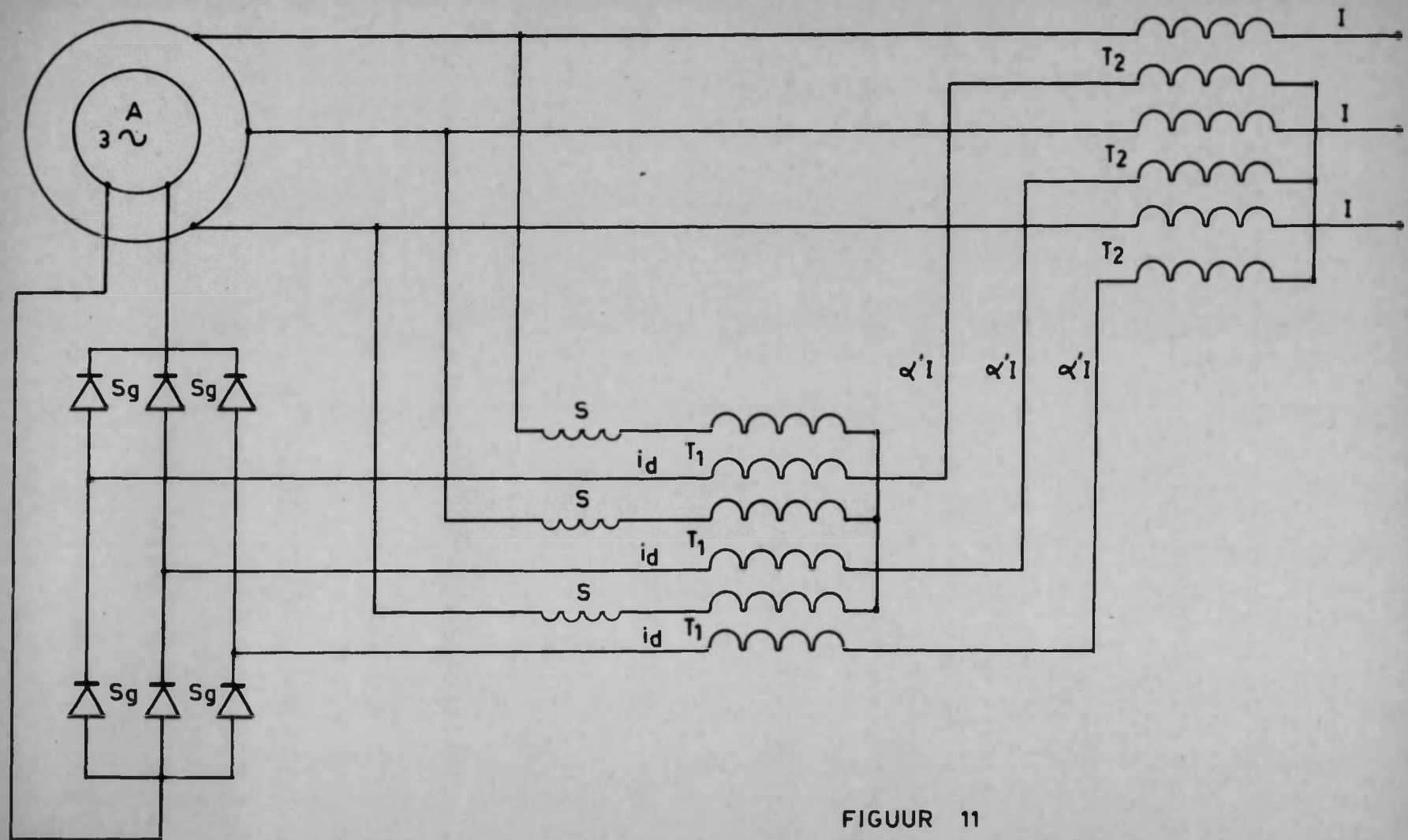
De principewerking van de alternator kan aan de hand van een vectordiagram verklaard worden (figuur 9).

Bij nullast wekt de generator een elektromotorische kracht  $E$  op die voortkomt van de oorspronkelijke bekrachtigingsstroom  $i_d$ . Beide vectoren zijn weergegeven volgens de voorstelling van de sinusoidale grootheden. De vector  $i_d$  is weliswaar een gelijkstroom, doch wentelt mee met de draaiende polen van de alternator. In de verdere bespreking neemt men aan dat de elektromotorische kracht evenredig is met de bekrachtigingsstroom.



Figuur 10

# ZELFGEREDELDE COMPOUNDGENERATOR



FIGUUR 11

Bij belasting levert de alternator een stroom  $I$ . Deze stroom veroorzaakt in de generator een spanningsval, waardoor de nullast electromotorische kracht  $E$  daalt tot de klemspanning  $U$ . Deze spanningsdaling kan in twee trappen onderverdeeld worden, nl. :

(i) Een daling van  $E$  tot  $E_r$ , tengevolge van de demagnetiserende werking van de stroom  $I$  en gekend onder het verschijnsel van de ankerreactie. Volgens de wet van Lenz is dit verschijnsel evenredig en vectorieel tegengesteld aan  $I$ . Deze werking wordt voorgesteld door  $\alpha I$ . Het is alsof de beginbekrachtigingsstroom  $i_d$  door de aftrekking van  $\alpha I$  teruggebracht wordt tot de waarde  $i_u$ .

(ii) Een spanningsval van  $E_r$  tot  $U$  die teweeggebracht wordt door lekreactantie van de statorwikkelingen. Deze inductieve spanningsval is evenredig met en vectorieel  $90^\circ$  gedefaseerd ten opzichte van  $I$  en wordt voorgesteld door  $j\omega L I$ .

De bekrachtigingsstroom  $i_u$  kan beschouwd worden alsof zij nog verminderd werd tot de waarde  $i$ , door aftrekking van de vector  $\beta I$ . Volgens bovenstaande hypothese is  $i$  evenredig met  $U$ , waardoor uit de gelijkvormigheid van de gearceerde driehoeken volgt dat de vector  $\beta I$  steeds evenredig en vectorieel tegengesteld is aan  $I$ .

De spanning  $U$  wordt tenslotte bekomen door van de beginstroom  $i_d$ , vectorieel de waarde  $\alpha' I = (\alpha + \beta) I$  of te trekken.

Uit figuur 10 kan opgemaakt worden dat men om de spanning  $U$  bij belasting gelijk te houden aan zijn electromotorische kracht  $E$ , aan de initiale bekrachtigingsstroom  $i_d$



bij nullast, welke  $90^\circ$  naijlt op de spanning  $U$ , een supplementaire bekrachtigingsstroom  $\alpha' I$  moet toevoegen, die evenredig en in fase is met de belastingsstroom  $I$ . Een alternator die volgens dit principe werkt noemt men een compound-generator.

Figuur 11 toont het principeschema van een zelfregelende compoundgenerator. De transformatoren  $T_1$  wekken de bekrachtigingsstroom  $i_d$  op die bij nullast de gewenste spanning  $U$  levert. De stroom  $i_d$  ijlt praktisch  $90^\circ$  na op  $U$ , tengevolge van de zelfinducties  $S$ .

De bijkomstige bekrachtigingsstroom  $\alpha' I$ , om de spanning  $U$  bij belasting constant te houden, wordt geleverd door de transformatoren  $T_2$ . De primaire wikkelingen van deze transformatoren zijn in serie geschakeld met het net en worden bijgevolg doorlopen door de belastingsstroom  $I$ . Hieruit volgt dat de secundaire wikkelingen van  $T_2$  een stroom leveren die evenredig en in fase is met  $I$ . De transformatoren  $T_1$  en  $T_2$  kunnen verenigd worden tot één enkele met twee afzonderlijke primaire wikkelingen. De bekomen stroomsterkten worden door middel van de silicium gelijkrichters  $S_g$  omgezet in een gelijkstroom die aangewend wordt voor de bekrachtiging van de alternator.

De alternator komt op spanning onder de invloed van het remanent magnetisme. Er is aldus geen enkele regeling vereist voor het op spanning komen van de generator.

De nauwkeurigheid van de spanningsregeling is van de orde van  $\pm 2,5 \%$  van de nullast electromotorische kracht tot de nominale belasting (vollast). De nauwkeurigheid kan echter opgedreven worden tot  $0,5 \%$  door gebruik te maken van een regelaar met magnetische versterker.



De antwoordsnelheid is van de orde van enkele perioden en slechts afhankelijk van de tijdconstanten van de transformatorkringen.

Voor de uitvoering van de compoundschakeling bestaan drie uitvoeringen, met name :

(i) Compoundschakeling op chassis.

Deze schakeling wordt zonder afscherming geleverd en dient dan ook in een kast gemonteerd te worden. Het geheel kan eveneens in een andere ruimte opgesteld worden.

(ii) Ingebouwde compoundschakeling.

De schakeling wordt op de generator gemonteerd, zodat het geheel een monoblok vormt, die beschermd is tegen regen en indringing van andere stoffen.

(iii) Losse compoundschakeling.

Hier worden de onderdelen (zelfinducties, transformatoren en gelijkrichters) afzonderlijk geleverd en kunnen bijgevolg naar keuze opgesteld worden.

Tenslotte kan nog aangestipt worden dat de zelfregelende driefasige compoundalternatoren aan de algemene voorschriften beantwoorden met betrekking tot de draaiende elektrische machines.

b) Asynchrone motoren.

Driefasige asynchrone motoren zijn inductiemotoren, die veelvuldige toepassingen vinden in de industrie. Uitgerust met kooianker bieden zij volgende voordelen :

- eenvoudige constructie, daar geen borstels, sleep-  
ringen, kortsluitmechanisme noch aanloopweerstand voorhanden  
zijn ;

- lage aankoopprijs ;

- stabiele toerental ;

- eenvoudige bediening ;

- vergen praktisch geen onderhoud, zodat zij ge-  
durende een lange periode kunnen werken zonder nazicht ;

- gemakkelijk verkrijgbaar in de handel, zowel  
voor geventileerd gesloten als voor hermetisch gesloten uit-  
voering ;

- uiterst gemakkelijke verandering van draairichting

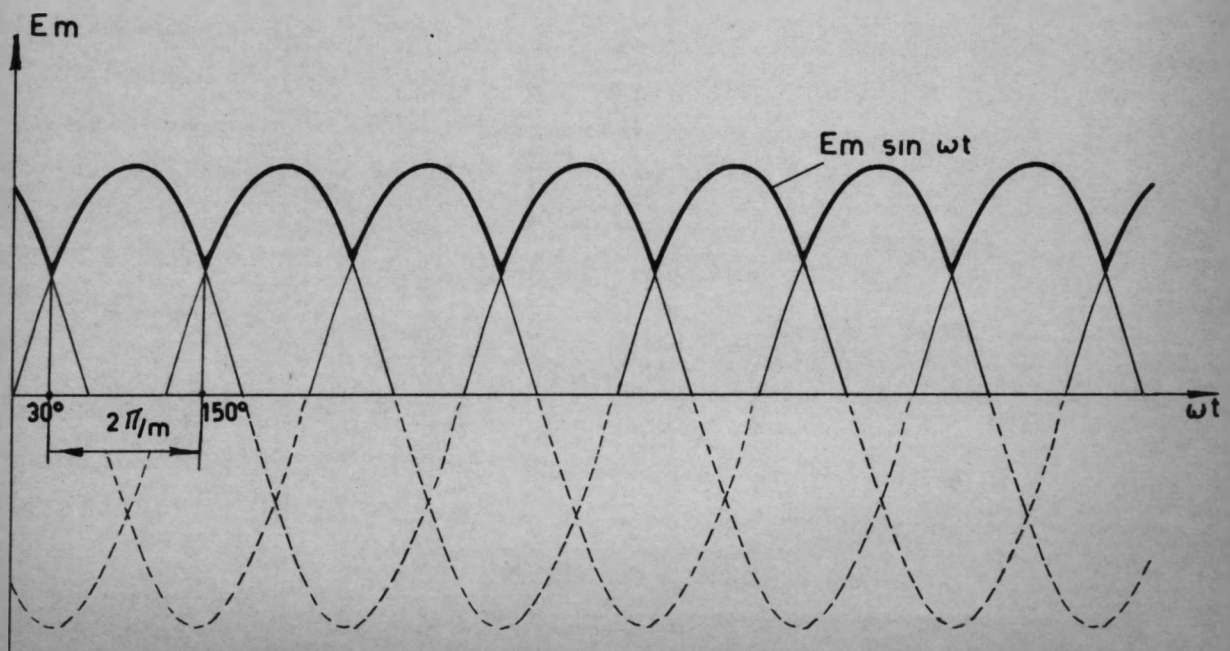
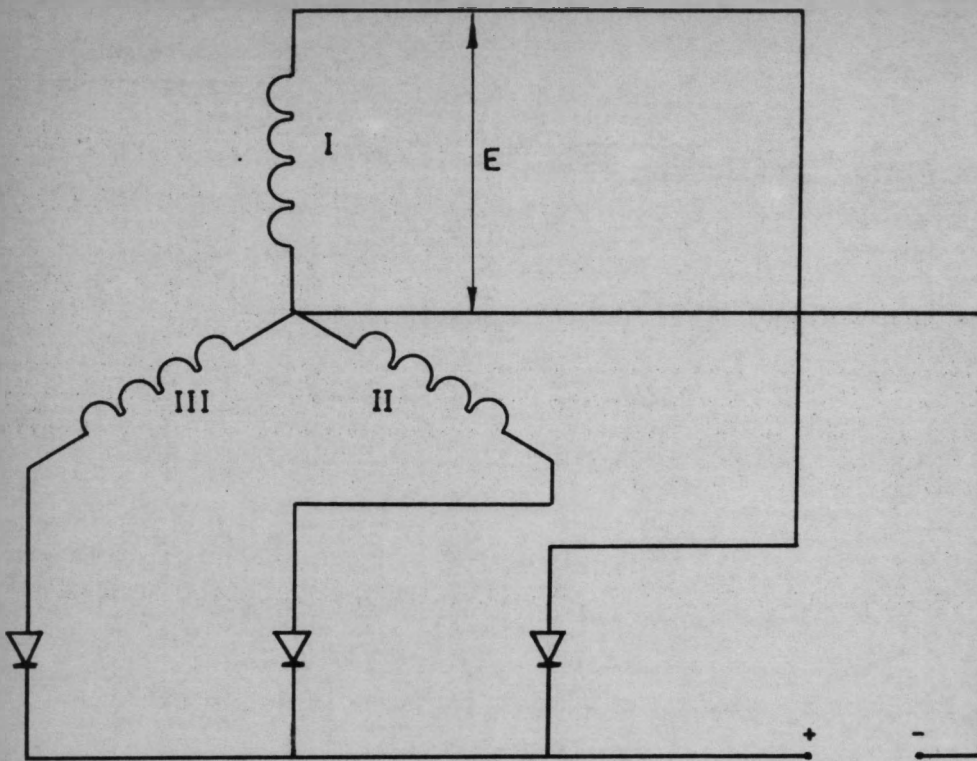
- rendement zoals de gelijkstroommotoren en -dynamo's

- versterkt aanloopkoppel en beperkte inschakel-  
stroom door gebruik van rechthoekige rotorstaven, die in  
diepe gleuven geplaatst worden (principe van dubbelkooianker) ;

- zeer stevige uitvoering van de rotor, die prak-  
tisch nooit breekt ;

- zeer grote keuze van vermogen ( $1/6$  ;  $1/4$  ;  $1/3$  ;  
 $1/2$  ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 4 ; 5,5 ; 7,5 ; 10 pk enz.).

Kooianker motoren met een vermogen groter dan 2 pk  
vereisen een sterdriehoekschakelaar voor het aanzetten. Hier-  
door wordt het aanloopkoppel verzwakt, zodat asynchrone



FIGUUR 12

motoren uitgerust met kooianker minder geschikt zijn om te starten onder vollast. Dit nadeel valt echter grotendeels weg indien deze motoren uitgerust zijn met een dubbelkooi-anker. Aan boord van vaartuigen lopen echter de meeste motoren aan onder nullast, zodat dit nadeel grotendeels ondervangen wordt.

### c) Gelijkrichtersysteem.

-----

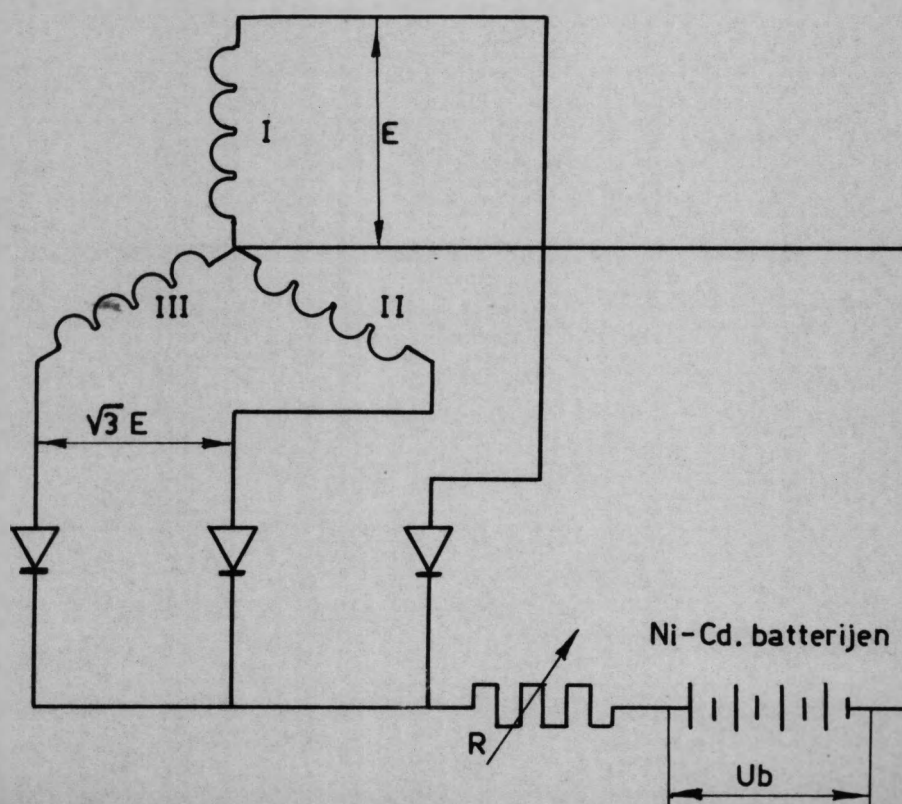
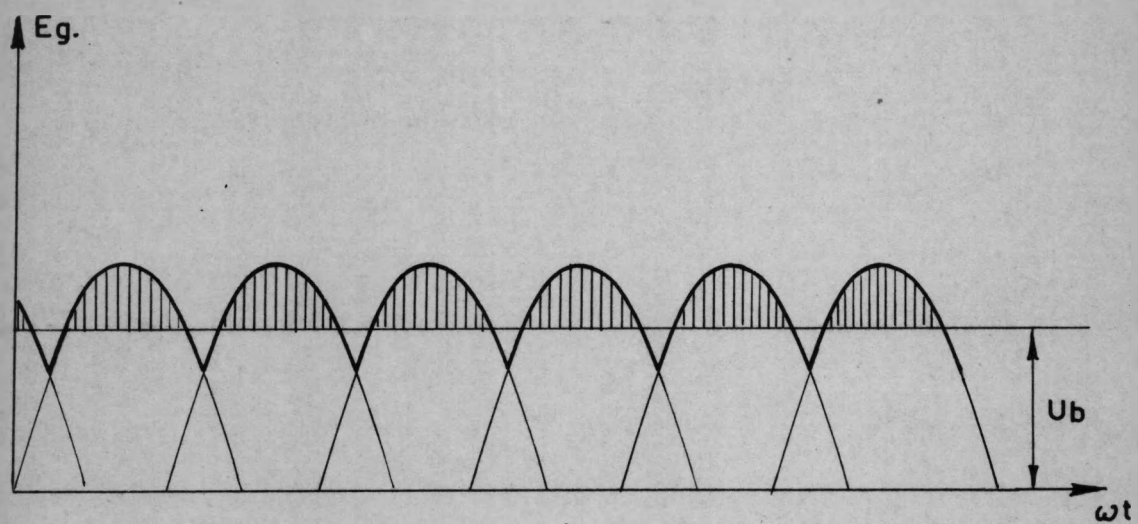
De gelijkrichting komt tot stand door gebruik te maken van droge gelijkrichters die volledig statisch uitgevoerd zijn, praktisch geen onderhoud vergen en bovendien gekenmerkt worden door een onbeperkte levensduur.

De voornaamste types van gelijkrichters zijn samengesteld uit germanium, selenium of silicium. Voor de gelijkrichting wordt uitgegaan van silicium dioden, die uiterst klein zijn in omvang, relatief hoge stroomsterkten kunnen leveren en een goed rendement bezitten.

De driefasige sterspanning (I, II, III) van de alternator kan rechtstreeks aangewend worden voor de gelijkrichting van de wisselspanning. Het driefasig gelijkrichter-schema en de vorm van de gelijkgerichte spanning die een pulserend karakter heeft, zijn voorgesteld in figuur 12.

Uit deze figuur kan afgeleid worden dat ieder diode slechts geleidt over  $1/3$  periode of  $\frac{2\pi}{m}$  graden ( $m$  = aantal fasen).

De theoretische waarde  $E_g$  van de gelijkspanning kan bepaald worden door de gemiddelde waarde te berekenen van de stroom gedurende dewelke de diode in werking is. Daar



FIGUUR 13

$m = 3$  heeft er per diode een stroomdoorlating plaats over een interval van  $120^\circ$ , hetgeen in werkelijkheid overeenkomt met een strook van de sinusoidale begrepen tussen  $30^\circ$  en  $150^\circ$ .

Men bekomt aldus :

$$E_g = \frac{1}{\frac{2\pi}{3}} \int_{30^\circ}^{150^\circ} E_m \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t$$

In deze uitdrukking is  $E_m \cdot \sin \omega t$  de voorstelling van de wisselspanning :

$$E_g = \frac{3 E_m}{2\pi} \int_{30^\circ}^{150^\circ} \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{3 E_m}{2\pi} \left[ -\cos \omega t \right]_{30^\circ}^{150^\circ}$$

$$\text{of } E_g = \frac{3 E_m}{2\pi} (\cos 30^\circ - \cos 150^\circ) = \frac{3 E_m}{2\pi} \cdot \frac{2\sqrt{3}}{2}$$

Door vervanging van  $E_m$ , die gelijk is aan  $\sqrt{2}$  maal de effectieve spanning  $E$ , krijgt men :

$$E_g = \frac{3 \cdot \sqrt{2} E}{2\pi} \cdot \sqrt{3} = \frac{3 \sqrt{6}}{2\pi} \cdot E$$

$$E_g = 1,17 E$$

Gezien de waarde van  $E$  gelijk is aan 127 volt, wordt :

$$E_g = 1,17 \cdot 127 = 149 \text{ volt}$$



De werkelijke gelijkspanning  $U_g$  wordt gevonden door rekening te houden met de inwendige spanningsval  $E_i$  in de diode en in de andere elementen. Hieruit volgt dat :

$$U_g = E_g - E_i$$

De spanning  $U_g$  kan via het inschakelen van gepaste weerstanden aangewend worden voor het laden van de batterijinstallatie. Voor het laden van de 110 volt batterijen moet immers de laadspanning merkkelijk hoger zijn dan de nominale batterijspanning. Dit is te wijten aan het feit dat de stroom slechts vloeit wanneer de gelijkgerichte spanning groter is dan de batterijspanning  $U_b$  (figuur 13). Naarmate de batterij zich laadt, worden de ordinataverschillen kleiner, waardoor de stroomsterkte geleidelijk afneemt. De stroomintensiteit is tevens regelbaar door middel van de regelweerstand R.

#### d) Hulpmotor.

-----

De hulpmotor is een diesel die met waterkoeling uitgevoerd is. Luchtgekoelde motoren vallen goedkoper uit, doch vergen een speciale bijkomende installatie voor de luchttoevoer.

Het invoeren van een afzonderlijke hulpmotor bij de wisselstroominstallatie heeft ook tot gevolg dat het brandstofverbruik hoger zal liggen dan bij de ene grotere hoofdmotor die de gelijkstroombynamo aandrijft. De bijkomende hulpmotor biedt echter de mogelijkheid de aandrijvende hoofdmotor op een lager pk af te stellen.

Anderzijds moet erop gewezen worden dat het geluid van een kleine hulpmotor hinderend kan werken op de rust van de bemanning vooral wanneer de logies en machinekamer dicht bij elkaar gelegen zijn.



Tenslotte vergt de bijkomende motor meer plaats.

### § 3. - ECONOMISCHE ASPEKTEN.

=====

In aansluiting op de technische mogelijkheden van het gebruik van wisselstroom is het ook uitermate belangrijk enkele economische aspecten van gelijkstroom- en wisselstroominstallaties te belichten. Dit kan geschieden onder een dubbel oogpunt, nl. ten aanzien van de aankoopprijs en installatiekosten van de apparatuur (motoren, dynamo's, aanzetters enz.) enerzijds en de exploitatiekosten anderzijds.

#### A. Aankoopprijs en installatiekosten.

Bij de vergelijking van de aankoopprijs en de installatiekosten van gelijkstroom- en wisselstroominstallaties zijn twee elementen vooral van betekenis. Vooreerst moet de toepassing van wisselstroom en gelijkstroom geschieden op eenzelfde type van schip. Verder moet worden uitgegaan van de vereiste van een equivalent vermogen, alsmede van dezelfde mogelijkheden zowel bij gelijkstroom als bij wisselstroom.

Wanneer de zesde mogelijkheid, die de meest praktische en meest economische lijkt te zijn ter vergelijking wordt genomen, dan bekomt men, door zich te steunen op de katalogusprijzen (1), volgende cijfers :

(a) voor een vaartuig van 300 pk, 100 BT, 25 m lengte en 6,5 breedte kost een gelijkstroominstallatie in totaal 198.850 F en een wisselstroominstallatie 203.010 F ; dit betekent dat een wisselstroominstallatie 2,1.% duurder uitvalt.

---

(1) In april 1965.

(b) voor een vaartuig van 650 pk, 235 BT, 35 m lengte en 7 m breedte bedraagt de kostprijs voor een gelijkstroominstallatie in totaal 318.350 F en voor een wisselstroominstallatie 269.675 F ; het prijsverschil in het voordeel van een wisselstroominstallatie bedraagt 15,3 %.

Deze cijfers zijn terug te vinden in de tabellen 1 en 2.

Bij deze prijzenvergelijking moeten nog een aantal bemerkingen worden gemaakt.

Er wordt verondersteld dat de leidingen geen meerprijs tot gevolg hebben ; men mag immers aannemen dat de prijzen voor de leidingen van het drieleiderstelsel overeenkomen met de prijzen van de zwaardere geleiders voor de gelijkstroominstallatie.

Met de prijzen voor een waterverwarmer (1.000 watt) en een verwarmingstoestel (1.000 watt) wordt geen rekening gehouden, vermits deze toestellen universeel zijn, d.w.z. zowel voor gelijk- als voor wisselstroom geschikt zijn.

Ook de algemene kosten voor het plaatsen van de installatie blijven buiten beschouwing, omdat zowel een gelijkstroom- als een wisselstroominstallatie evenveel arbeidstijd vergt.

#### B. Exploitatiekosten.

Het vergelijken van de exploitatiekosten tussen een gelijkstroominstallatie en een wisselstroominstallatie geeft aanleiding tot bepaalde moeilijkheden ; absolute cijfers over het verbruik in het algemeen, over de revisiekosten, over de vervanging van onderdelen enz. ontbreken, zodat een exacte vergelijking onmogelijk is.

Tabel 1. - Prijzen van een gelijkstroom- en wisselstroominstallatie voor een schip van 300 pk.

Gelijkstroom				Wisselstroom		
Aard	Motor	Aanloop- in- richting	Totaal	Motor	Aanloop- inrichting	Totaal
Pomp 3 pk	9.100	4.500	13.600	4.500	315	4.815
Compressor 4 pk	12.600	4.500	17.100	5.300	315	5.615
Koelinstallatie 4 pk	12.600	13.100(1)	25.700	6.300	(1)4.650	10.950
Stuurmachine 2 pk	8.550	2.100	10.650	4.150	315	4.465
Loslier 2 pk	8.550	2.100	10.650	4.150	315	4.465
Hydrofoor 1/3 pk	4.850	-	4.850	1.800	-	1.800
Ventilator 1/6 pk	4.250	-	4.250	2.950	-	2.950
Centrale ver- warming 1/6 pk	3.850	-	3.850	1.750	-	1.750
Totale prijs motoren met aanloop- inrichtingen			90.650	Idem		36.810
Hoofddynamo		65.000	108.200	Alternator I	47.000	166.200
Spanningsregelaar		16.500		Hulpmotor	44.200	
Hulpdynamo		23.200		Plaatsings- kosten hulpmotor	21.000	
Handregelaar D <sub>2</sub>		3.500		Gelijk- richters	7.000	
				Alternator II	47.000	
Totale prijs gelijkstroom			198.850	Totale prijs wisselstroom		203.010

- (1) De koelinstallatie is voor gelijk- en wisselspanning voorzien van een automatische aanzetinrichting. De pomp, compressor, stuurmachine en loslier worden met een gewone aanzetter ingeschakeld. De overige motoren lopen rechtstreeks aan.

Tabel 2. - Prijzen van een gelijkstroom- en wisselstroominstallatie voor een schip van 650 pk.

Gelijkstroom				Wisselstroom		
Aard	Motor	aanloop- in- richting	Totaal	Motor	aanloop- inrichting	Totaal
Pomp 4 pk	12.600	4.500	17.100	5.300	315	5.615
Compressor 4 pk	12.600	4.500	17.100	5.300	315	5.615
Compressor 4 pk	12.600	4.500	17.100	5.300	315	5.615
Koelinstallatie 4 pk	12.600	(1) 13.100	25.700	6.300	(1) 4.650	10.950
Stuurmachine 5,5 pk	14.800	5.900	20.700	7.700	435	8.135
Loslier 2 pk	8.550	2.100	10.650	4.150	315	4.465
Ventilator 1/6 pk	4.250	-	4.250	2.950	-	2.950
Ventilator 1/6 pk	4.250	-	4.250	2.950	-	2.950
Brandstofpomp 1/2pk	5.000	-	5.000	1.940	-	1.940
Hydrofoor 1/2 pk	5.000	-	5.000	1.940	-	1.940
Totale prijs motoren met aanloop- inrichting			126.850	Idem		50.175
Hoofddynamo 25 KW	109.000		191.500	Alternator I	65.500	219.500
Spanningsregelaar	18.500			Hulpmotor	57.000	
Hulpdynamo 21,5KW	59.500			Plaatsings- kosten af- zonderlijke hulpmotor	23.000	
Handregelaar	4.500			Gelijkricht- richters	8.500	
				Alternator II	65.500	
Totale prijs gelijkstroom			318.350	Totale prijs wis- stroom		269.675

(1) De koelinstallatie is voor gelijk- en wisselspanning voorzien van een automatische aanzetinrichting. De pomp, compressor, stuurmachine en loslier worden met een gewone aanzetter ingeschakeld. De overige motoren lopen rechtstreeks aan.

Het is echter wel zo dat het inzetten van een hulpmotor bij een wisselstroominstallatie aanleiding geeft tot :

- a) hoger brandstofverbruik,
- b) meer olieverbbruik,
- c) supplementaire revisiekosten,
- d) bijkomende uitgaven voor eventuele vervanging van onderdelen,
- e) hogere afschrijvingskosten (tengevolge van de kortere levensduur).

Anderzijds moet voor een gelijkstroominstallatie worden aangestipt dat :

- a) de koolborstels moeten worden vervangen,
- b) de collectoren regelmatig dienen worden nagezien,
- c) de vervangingsstukken meer een specialiteit vormen (en dan ook te verkrijgen moeten zijn bij gespecialiseerde firma's).

De kosten die hiermede gepaard gaan, komen ongetwijfeld in vermindering van de supplementaire kosten die een hulpmotor meebrengt.

#### § 4. - BESLUITEN. =====

Het uitgangspunt van de studie was een dubbele vraag, nl. (a) welke voor- en nadelen biedt het gebruik van gelijkstroom en wisselstroom aan boord van vissersvaartuigen en (b) kan het aanwenden van wisselstroom de nadelen van gelijkstroom ondervangen en welke problemen rijzen hierbij op.

Uit de studie kunnen volgende besluiten getrokken worden :

(1) Het verkrijgen van een constant toerental vormt het probleem voor het invoeren van wisselstroom aan boord van vissersvaartuigen.

(2) Het aanwenden van wisselstroom biedt ongetwijfeld technische voordelen, vooral met betrekking tot het invoeren van driefasige asynchrone motoren met kooianker, waardoor er geen sleepringen en borstels voorhanden zijn. Dit geeft voor gevolg dat er geen storingen optreden tengevolge van vonken. Ook de aanloopsapparatuur (sterdriehoekschakelaar) en de bediening van dergelijke wisselstroommotoren is eenvoudiger dan voor gelijkstroommotoren.

(3) Een wisselstroominstallatie blijkt bij aankoop en installatie geen prijsvoordeel op te leveren bij vaartuigen met een vermogen van ca 300 pk ; voor schepen uitgerust met grotere vermogens ( $\pm$  600 pk en meer) is er echter wel een voordeel. Dit komt o.a. door het feit dat grote schepen enerzijds meer elektrische motoren aan boord hebben, waarvan de aankoopprijs voor het gebruik op wisselstroom merkkelijk lager ligt dan deze van gelijkstroom en anderzijds de kostprijs voor wisselstroomvoeding (vooral alternatoren) in functie van het geïnstalleerd vermogen minder vlug stijgt dan deze voor gelijkstroomvoeding.

(4) Het inschakelen van een afzonderlijke hulpdieselmotor hogere exploitatiekosten meebrengt, voornamelijk met betrekking tot het brandstof- en olieverbruik.

(5) Het bijkomend lawaai van de hulpmotor kan hinderend zijn voor de bemanning vooral wanneer het logies en de machinekamer dicht bij elkaar gelegen zijn.



(6) Het plaatsgebrek kan zich eventueel opdringen bij vaartuigen van 300 à 400 pk. Doch uit de studie is gebleken, dat bij dergelijke vaartuigen een wisselstroominstallatie minder interessant is.

(7) De faktor gevaar die bij de aanwending van wisselstroom (110 V) door de bedrijfsmiddelen wordt naar voor gebracht, blijkt niet groter te zijn dan bij gelijkstroom (110 V) ; de voorschriften van de zeevaartinspectie (die tot 250 V gaan) en de ervaringen in het binnen- en buitenland onderschrijven deze affirmatie. Volgens de voorschriften moet echter het sterpunt van de alternator geaard worden.

April 1966.

